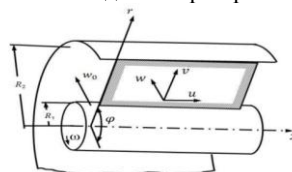


1. Валиев, М.И. К вопросу о механизме действия высокомолекулярных полимерных противотурбулентных присадок // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2013. - №3. - С. 11-18.
2. Макаров, С.П. Обобщение результатов применения противотурбулентной присадки Necadd-447 при трубопроводном транспорте дизельных топлив // Технологии нефти и газа. - 2008. - №1. - С. 44-46.
3. Муратова, В.И. Оценка влияния ПТП на гидравлическую эффективность нефтепродуктов: дис. канд. тех. наук: 25.00.19. - Уфа, 2014. - 148 с.
4. Белоусов, Ю.П. Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей / Ю.П. Белоусов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 145 с.
5. Абросимов, Ю.Г. Эффект аномального снижения гидравлического сопротивления при введении в поток воды линейных высокомолекулярных полимеров // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". - 2009. - №1. - С. 1-5.

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Физическая модель: восходящий поток бурового раствора в процессе роторного бурения, характеризующийся циркуляцией бурового раствора внутри бурильной колонны, вращающейся с частотой ω , и снаружи, в кольцевом пространстве между бурильной трубой и стенкой скважины (рис. 1). Область исследования задачи ограничена технологическими параметрами, характеризующие бурение интервалов под эксплуатационную колонну и хвостовик. Вязкость задается при приготовлении бурового раствора.



Для построения математической модели использовались уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости, исходя из того, что при заданных технологических параметрах наблюдался исключительно ламинарный режим течения жидкости. Данная модель определяет течение ньютоновской жидкости, под описание которых подходят исследуемые растворы солей. Потери давления на гидравлическое сопротивление будут анализироваться на основании закона Дарси-Вейсбаха и находиться экспериментально.

Рассматривая задачу, определяем характеристику потока: жидкость ньютоновская, несжимаемая, движение осесимметричное, трехмерное; течение ламинарное, установившееся, развитое; в потоке действуют силы инерции и тяжести; поток гидравлически стабилизированный на участке; участок бесконечно длинный с кольцевым поперечным сечением, на стенках выполняются условия прилипания; внешняя стенка неподвижна, внутренняя вращается с постоянной скоростью; $v(x, r, \varphi) = 0$. После принятых упрощений система уравнений сводится к виду (1):

$$\begin{cases} \frac{w^2}{r} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial r}; \\ 0 = v \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{w^2}{r} \right); \\ \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} = v \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right); \\ \frac{\partial}{\partial r}(r \cdot v) = 0; \end{cases} \quad (1)$$

Решая второе уравнение системы, определяем зависимость тангенциальной скорости потока от радиуса скважины (2):

$$W = \frac{\omega \cdot R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot r - \frac{R_1^2 \cdot R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot \frac{\omega}{r} \quad (2)$$

Из уравнения видно, что скорость вращения определяется частотой вращения внутренней стенки, и уменьшается до нуля с удалением от нее (рис.2). Видно, что на изменение профиля окружной скорости оказывает влияние геометрия кольцевого пространства.

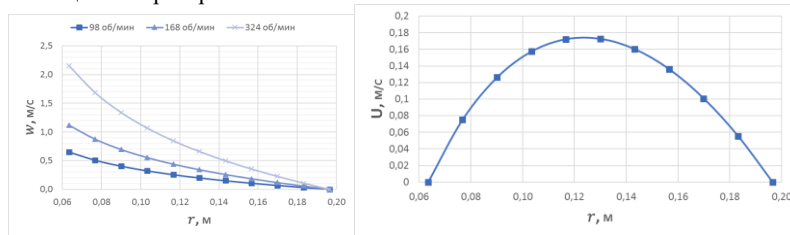


Рис. 2 – Эпюры распределения w-компоненты скорости в поперечном сечении и u-компоненты в продольном направлении

Решая третье уравнение системы, находим зависимость скорости восходящего потока от радиуса скважины $u(r)$, уравнение (3):

$$u = \frac{C}{4 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \cdot \ln \frac{r}{R_1} + r^2 - R_2^2 \right) \quad (3)$$

Величина C представляет собой градиент перепада давления, под действием которого происходит движения жидкости. Анализируя график $u(r)$, (рис. 2) отметим, что вершина параболического профиля компоненты скорости имеет незначительное смещение, определяемое геометрией кольцевого пространства.

Суммарные сдвиговые напряжения, возникающие при циркуляции жидкости и вращении потока по концентрическим окружностям вокруг внутренней стенки определяются следующим выражением (4):

$$|\tau_w| = \sqrt{\left| \frac{C}{4} \cdot \left(\frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \cdot \frac{1}{r} + 2 \cdot r \right) \right|^2 + \left| 2 \cdot \mu \cdot \frac{R_2^2 \cdot R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot \frac{w}{r^2} \right|^2} \quad (4)$$

Из эпюры (см. рис. 3) видно, что нелинейный характер кривой определяется компонентой напряжения $\tau_{r\varphi}$, а линейный – соответствующей компонентой тензора напряжений τ_{xr}

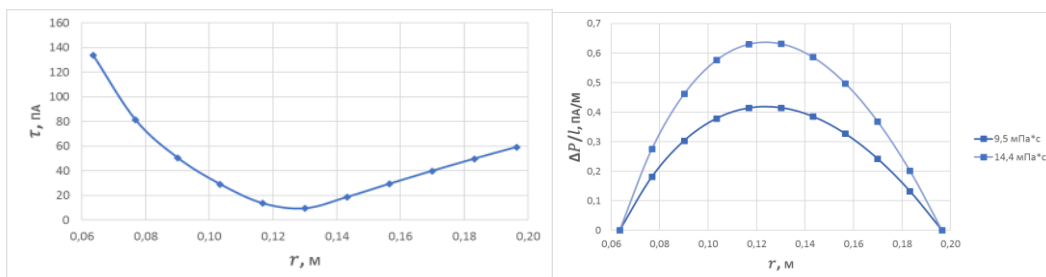


Рис. 3 Эпюра распределения сдвигового напряжения и перепада давления

Потери давления на гидравлические сопротивления в кольцевом пространстве определяются по закону Вейсбаха. Учитывая, что течение в затрубном пространстве ламинарное, для вычисления λ используем формулу Стокса. Таким образом находим зависимость (5):

$$\frac{\Delta P}{l} = -\frac{32 \cdot \mu \cdot u}{d^2}; \quad \frac{\Delta P}{l} = -\frac{8 \cdot C}{d^2} \cdot \left(\frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \cdot \ln \frac{r}{R_1} + r^2 - R_2^2 \right); \quad (16)$$

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

Из эпюры перепада давления (см. рис. 6) видно, что профиль перепада давления аналогичен изменению профиля скорости. Результаты, полученные при различных значениях динамической вязкости, подтверждают пропорциональную зависимость между перепадом давления на гидравлические сопротивления и вязкостью. А это доказывает, что постоянная C – суммарный перепад давления.

Учитывая, что вязкость является функцией как минимум от двух переменных (концентрация, температура), определение зависимости потерь давления напрямую от концентрации соли в растворе требует для установления зависимости проведение многофакторного эксперимента.

При исследовании границ применимости задачи было установлено, что восходящий поток в затрубном пространстве в процессе бурения характеризуется ламинарным режимом течения жидкости. Данная модель может использоваться при гидродинамическом моделировании процесса бурения многолетнемерзлых пород с использованием растворов солей. Расширение границ применимости решения может быть осуществлено при корректировке модели, допускающей применение для неньютоновских жидкостей (Бингама-Шведова, Оствальда-де Ваала); структурных, переходных, турбулентных режимов течения; суспензий (взвешенных частиц в жидкости); тепло-массообменных процессов.

Литература

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов. – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2003. – 840 стр.;
2. Слезкин Н. А., Динамика несжимаемой жидкости: учебное издание. – М.: "Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955г. - 520 стр.;
3. Clive L. Dym Introduction to Engineering Mechanics: A Continuum Approach / Clive L. Dym, Jenn Stroud Rossmann. – London: CRC Press, 2008. – P. 472.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Д.А. Федотов, В.В. Шаламов

Научный руководитель – профессор Харламов С.Н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Загрязнение почв происходит в местах добычи, транспортировки, хранения и переработки нефти. Перед началом дорогостоящих работ по экскавации грунта необходимо знать глубину проникновения загрязнителя. В этом нам может помочь математическое моделирование, которое позволяет оценить величину загрязненной зоны.

Целью работы является исследование особенностей фильтрации нефти в почву, анализ математической модели двухфазной фильтрации, учитывающей движение загрязнителей и воздуха в почве. Основными уравнениями, которые описывают движение нефти в грунте, являются уравнение сохранения массы и уравнение сохранения импульса, которое сводится к закону фильтрации Дарси.

Закон сохранения массы и закона фильтрации Дарси для трехмерного течения имеют вид [2]:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{u}) = 0, \quad (1)$$

где m – пористость грунта, м³; s – насыщенность; t – время, с; ρ – плотность, кг/м³; \vec{u} – скорость, м/с.

$$\vec{u} = -k \frac{k(s)}{\mu} (\nabla p - \rho \vec{g}), \quad (2)$$

где k – проницаемость пористой среды, м²; μ – вязкость, Па·с; p – фазовое давление, Па; \vec{g} – ускорение свободного падения, м²/с.

Подставим в уравнение неразрывности закон Дарси, в результате чего с учетом соотношения для капиллярного давления получим [2]:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} = \left(\left(-\frac{k}{\mu_1 \frac{\mu_2}{\mu_1} k_1(s) + k_2(s)} \right) \frac{\partial p_c(s)}{\partial z} \right) - \frac{k}{\mu_1} \frac{\partial}{\partial z} \frac{\mu_2}{\mu_1 k_1(s) + k_2(s)} \rho_1 g + \frac{k}{\mu_1} \frac{\partial}{\partial z} \frac{k_1(s) k_2(s)}{\mu_1 k_1(s) + k_2(s)} \rho_2 g \quad (3)$$

где k_1, k_2 – фазовые проницаемости нефти и воздуха соответственно, м²; μ_0 – отношение вязкостей нефти и воздуха; ρ_1, ρ_2 – плотность нефти и воздуха соответственно, кг/м³; p_c – функция капиллярного давления.

Чтобы установить связь между капиллярным давлением P_c , пористостью и проницаемостью среды воспользуемся функцией Леверетта [1]:

$$P_c(s) = \frac{\sigma \cos \theta}{(k/m)^{0.5}} J(s), \quad J(s) = \frac{(k/m)^{0.5}}{\sigma \cos \theta} P_c(s) \quad (4)$$